

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Brauneck, Jens; Jüpner, Robert; Pohl, Reinhard; Friedrich, Frank Auswertung des Deichbruchs Breitenhagen (Juni 2013) anhand von UAS-basierten Videoaufnahmen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103317>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Brauneck, Jens; Jüpner, Robert; Pohl, Reinhard; Friedrich, Frank (2016): Auswertung des Deichbruchs Breitenhagen (Juni 2013) anhand von UAS-basierten Videoaufnahmen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement - Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRRL und EU-HWRM-RL. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 57. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 119-128.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Auswertung des Deichbruchs Breitenhagen (Juni 2013) anhand von UAS-basierten Videoaufnahmen

Jens Brauneck
Robert Jüpner
Reinhard Pohl
Frank Friedrich

Block 2
Saal 3

Bei großen Hochwasserereignissen stehen den Katastrophenschutzkräften aktuell nur vereinzelt geeignete Techniken zur Verfügung, um unmittelbar nach einem Deichbruch zeitnah eine angemessene Informationsbasis zur Einschätzung der konkreten Gefahrensituation geben zu können.

Zu Beginn des Deichbruchs im Juni 2013 in Breitenhagen an der Saale kurz vor der Mündung in die Elbe wurde ein Multikopter zur Erstellung von Videoaufnahmen eingesetzt. Mittels neuer Auswerteverfahren der digitalen Photogrammetrie, die als „structure from motion“ oder auch als „dense image matching“ bekannt sind, können aus diesen Aufnahmen topographische Informationen in Form von digitalen Oberflächenmodellen abgeleitet werden. Insgesamt sind bei der Auswertung vier Modelle entstanden, welche die Entwicklung der Breschenbreite des Deichbruchs von 9 bis 40 Metern erfasst haben.

Anhand dieser Information wurden weiterführende Berechnungen innerhalb eines hydrodynamischen Modells durchgeführt. Diese Daten eignen sich darüber hinaus als Modellierungsgrundlage von Szenarien, die im Katastrophenfall genutzt werden können.

Stichworte: Deichbruch, Bresche, Kartierung, Unbemannte Flugsysteme, Fernerkundung, Hochwasserrisikomanagement

Keywords: Levee failure, breach, mapping, remotely piloted aircraft systems, remote sensing, Flood Risk Management

1 Einleitung

Ein Monitoring von gefährdeten Infrastrukturen ist über Satelliten sowie von Boden aus häufig nur begrenzt möglich. Als potentielle Schnittstelle zwischen satelliten- und bodenbasiert erhobenen Daten können unbemannte Systeme zur fluggestützten Fernerkundung (engl. unmanned aerial system, kurz: UAS), i.d.R. Multikopter oder Flächenflieger, dienen. So eignen sich diese Systeme besonders

zur schnellen Erstellung von Oberflächen- und Geländemodellen um diese Information im Katastrophenfall nutzen zu können. Unbemannte Systeme zur fluggestützten Fernerkundung, auch als remotely piloted aircraft systems (RPAS) bezeichnet, i.d.R. Multikopter oder Flächenflieger, finden zunehmend Verwendung als luftgestützte Aufnahmeplattform in zivilen Projekten, und eignen sich in besonderer Weise zur schnellen Erstellung von Oberflächen- und Geländemodellen im Katastrophenfall (*Choi et al.*, 2009). Diese Systeme bieten die Möglichkeit, mit wenig zeitlichem und finanziellem Aufwand Luftbildkartierungen eines gefährdeten Gebietes oder gefährdeter Infrastrukturen durchzuführen. Insbesondere sind solche UAS geeignet, um Infrastrukturzustände in Arealen zu erfassen, die temporär oder auch dauerhaft nicht zugänglich sind, wie es beispielsweise bei Überflutungen der Fall ist. Ein solches zeitlich wie räumlich hochauflösendes Monitoring ist über Satelliten sowie von Boden aus kaum möglich.

Durch zahlreiche technische Verbesserungen hinsichtlich Flugzeiten und Automatisierung finden diese Systeme in den letzten Jahren immer weitere Verbreitung. UAS-basierte Luftbilder können durch Ihre hohe Auflösung als Datengrundlage für eine Reihe von digitalen Produkten dienen, z. B. Höhen- und Oberflächenmodelle, Gebäudemodelle sowie Gefahrenkarten (*Xu*, 2014).

1.1 Photogrammetrische Auswertung

Eine immer häufiger eingesetzte Anwendung ist die Erstellung dreidimensionaler digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle anhand von digitalen Bild- und Videoaufnahmen. Dazu wird aus einer Vielzahl von sich zum Teil überlagernden Luftbildaufnahmen durch spezifische Algorithmen ein Bildverbund erstellt, welcher entweder durch Einmessen von Bodenkontrollpunkten oder durch Lageerfassung mithilfe von GNSS-/GPS-Systemen auf ein übergeordnetes Koordinatensystem umgerechnet werden kann. Sind diese Informationen nicht verfügbar, können auch markante Geländepunkte nachträglich in den Aufnahmen identifiziert und zur Georeferenzierung benutzt werden. Dieses Verfahren zur 3D-Oberflächenberechnung ist im Englischen als structure from motion oder auch dense image matching bekannt.

Zwar können die so erstellten Modelle auch mit Hilfe der klassischen Vermessung in Kombination mit terrestrischen Laserscannern ermittelt werden, allerdings ist neben einer potentiellen Gefährdung insbesondere der Zeitaufwand für flächenhafte Untersuchungen im Katastrophenfall meist zu hoch. Diese Daten sind jedoch unabdingbar, um aussagekräftige Prozessmodellierung betreiben zu können.

Besondere Vorteile gegenüber flugzeuggestützten Aufnahmen und klassischen Vermessungsmethoden bestehen neben der erhöhten Auflösung, in der kosteneffizienten und flexiblen Anwendung, die nur geringer Vorarbeit bedarf. Durch die

digitale Speicherung der Bilder können nahezu beliebig viele Aufnahmen erstellt werden, um beispielsweise im Rahmen einer ereignisbezogenen Datenerhebung in kurzen zeitlichen Intervallen strukturelle Veränderungen zu registrieren und die Dynamik eines Schadensprozesses zu dokumentieren. Der digitale Charakter der Daten ermöglicht die verlustfreie Weiterverarbeitung und Analyse der Ergebnisse in geographischen Informationssystemen sowie die Verbindung mit anderen flächenhaft erhobenen Daten, z. B. aus der Satellitenfernerkundung.

2 Modellierung des Deichbruchs Breitenhagen

2.1 Datengrundlage

Am 8. Juni 2013 wurde während des Deichbruches an der Saale-Mündung bei Breitenhagen im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) ein Multikopter zur Lagebeurteilung eingesetzt. Das Ergebnis liegt in Form von fünf Videoaufnahmen zwischen 1:28 und 10:35 Minuten Länge mit einer Auflösung von 1280*720 Pixel und 50 Frames pro Sekunde vor. Eine erste Auswertung der Aufnahmen fand an der TU Kaiserslautern statt (Weber, 2015). Trotz gewisser technischer Schwierigkeiten konnte die grundsätzliche Eignung der Daten zur Modellierung gezeigt werden.

2.2 3d-Modellierung

Aufgrund der geringen Fluggeschwindigkeit des Aufnahmesystems wurde aus den Videos jeweils ein Foto pro Sekunde erstellt. Da große Teile der Aufnahmen nicht den eigentlichen Bruch fokussierten, mussten zunächst passende Sequenzen zusammengestellt werden. Insgesamt wurden vier Abschnitte in den Videos als Grundlage für die Modelle benutzt. Die Verarbeitung der selektierten Aufnahmen erfolgte mit der Software Photoscan von Agisoft. Aufgrund der geringen Auflösung wurden grundsätzlich die höchsten Qualitäts- und Genauigkeitsstufen benutzt.

Zusätzlich wurden markante Bodenpunkte anhand von digitalen Orthofotos mit 20*20 cm Bodenauflösung identifiziert und zur Registrierung der Modelle benutzt. Die Höheninformation der Punkte wurde aus einem DGM 1 extrahiert.

Zur Verbesserung der Lagegenauigkeit wurden die Sequenzen für Modell 02 und Modell 04 um Aufnahmen aus dem ersten Modell erweitert. Dabei wurden die dynamischen Bereiche des Bruchs ausmaskiert und nur die statischen Bildausschnitte beibehalten.

Durch die unterschiedliche Anzahl passender Frames zeigen die Modelle entsprechende Unterschiede hinsichtlich der Genauigkeit. Die erzielte Bodenauflösung der texturierten Modelle liegt zwischen 3,5 (Modell03) und 8,7 cm (Modell01).

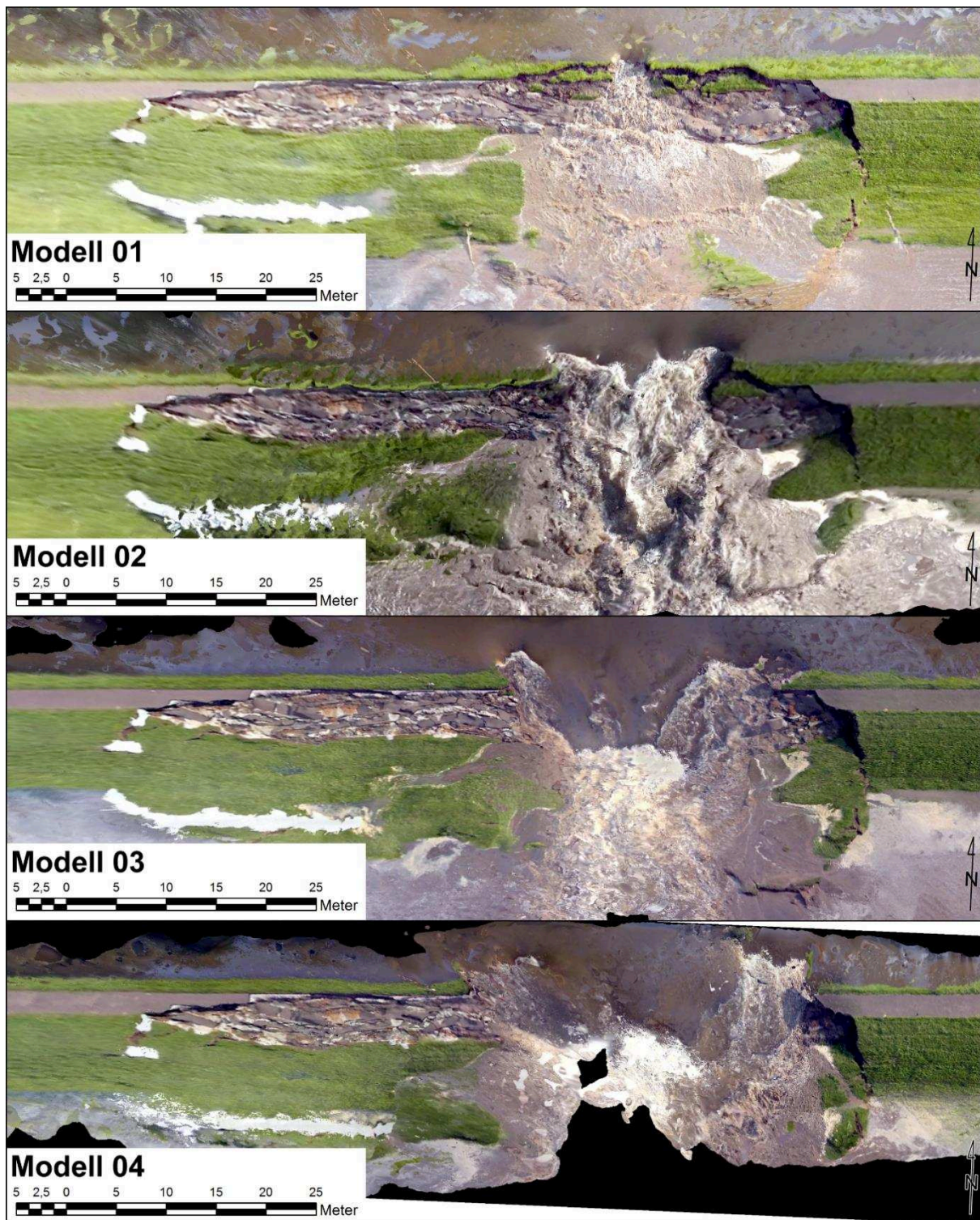


Abbildung 1: Deichbruch Breitenhagen 2013: Orthofotos der Modelle 01 bis 04 (Software: ArcGIS, Quelle der Videoaufnahme: LAW Sachsen-Anhalt)

Die durchschnittliche Höhenungenauigkeit im Bruchbereich variiert zwischen 8 und maximal 15 cm, was als sehr gutes Ergebnis eingeschätzt werden kann. Die Modelle 03 und 04 zeigen insgesamt aufgrund der günstigeren Aufnahmepositionen deutlich höhere Genauigkeiten als die Modelle 01 und 02.

Neben Orthofotos (Abbildung 1) wurde für jedes Modell ein digitales Oberflächenmodell mit 10*10 cm Auflösung generiert. Über dem Bruchbereich wurden im Abstand von 1m parallel zum Deich verlaufende Linien konstruiert und in 10 cm-Abständen die Höheninformation abgetragen. Die resultierenden Profillinien wurden zusätzlich zur Ermittlung der Wasserspiegelbreiten und -stände in der Bresche ausgewertet.

3 Hydrodynamische Modellierung

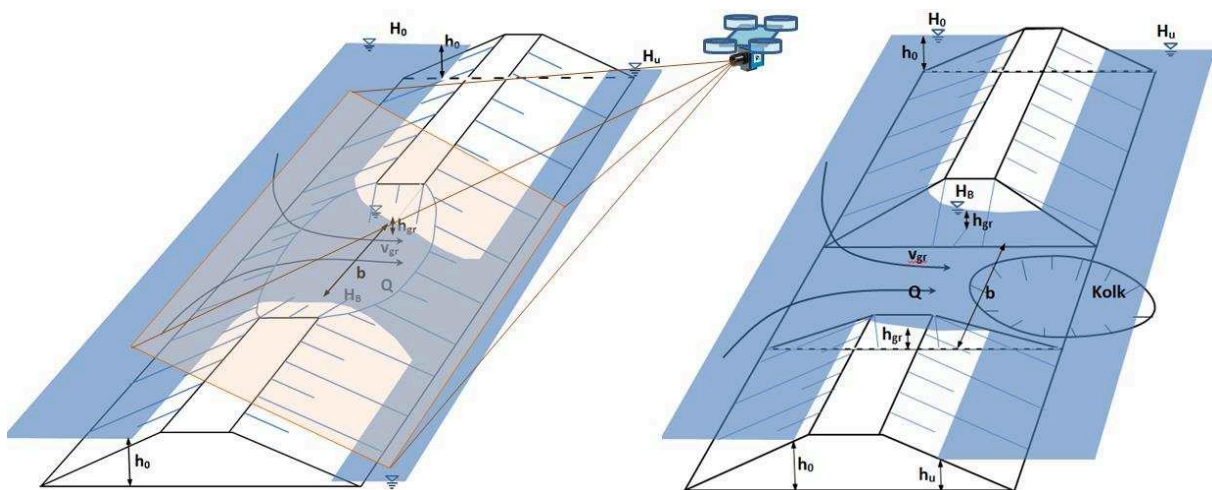


Abbildung 2: Beobachtungen der Deichüberströmung mittels Drohne (UAS). Links: kleinere Bresche zu Beginn des Vorganges, rechts: mit großer Bresche und Kolk sowie höherem Binnenwasserstand nach längerer Durchströmung

Nach einem Deichbruch muss für Katastrophenschutzmaßnahmen die Überflutungsdynamik im Hinterland möglichst präzise prognostiziert werden. Dabei sind lokale Fließgeschwindigkeiten und Abflüsse besonders wichtige Größen. Mit diesen Werten können bei bekannten Geländehöhenverhältnissen im Hinterland der Breschendurchfluss, die Ausbreitung des Wassers und die Wasserstände abgeschätzt werden, wenn außerdem noch die sich während des Ereignisses ändernden Abmessungen der Bresche und die Abflussverhältnisse im Oberwasser (Fluss, See, Meer) sowie im Unterwasser (Polder, Hinterland, ggf. mit Entlastungsmöglichkeiten, Siel, Schöpfwerk) bekannt sind.

Schwieriger ist die Berechnung während eines Ereignisses, wenn direkte Messungen der Wasserstände, Geschwindigkeiten und Geländepunkte im Nahbereich der

Bresche nicht möglich sind. In diesem Fall kann versucht werden, mit Hilfe von Luftbildern Geländedaten photogrammetrisch zu ermitteln, um eine Durchflussberechnung durchführen zu können. Erschwerend wirkt dabei, dass Bereiche unterhalb des Wasserspiegels im Moment des Ereignisses nicht abgebildet werden können. Deshalb bedarf es einiger Zusatzannahmen, um die Berechnung durchführen zu können: So z. B. a) Vernachlässigung der Fließgeschwindigkeiten in genügender Entfernung von der Bresche auf der Oberwasserseite (Vorland) und im Hinterland, b) Vernachlässigung der Umlenkungseffekte bei Änderung der Fließrichtung (Streichwehr), c) Annahme eines breitkronigen Überfalls oder eines Venturigerinnes mit der Grenztiefe und der Grenzgeschwindigkeit in der Engstelle (Bresche), d) rückgestauter Überfall, wenn das Unterwasser auf mehr als ungefähr drei Viertel der Oberwassertiefe ansteigt, e) kein Fließwechsel, wenn die unterwasserseitige Energiehöhe die minimale Energiehöhe in der Engstelle übersteigt, falls noch ein Restdeich in der Bresche vorhanden ist, wirkt dieser wie eine (positive) Sohlschwelle, f) die Breschengeometrie kann näherungsweise als Trapez angenommen werden, g) die mitunter beobachteten sehr steilen Bruchränder rechtfertigen die Annahme eines Rechteckprofils, wodurch sich Erleichterungen bei der Berechnung ergeben, h) Auskolkungen sind während des Hochwassers nicht einzusehen und können daher nur näherungsweise angenommen werden.

Der Durchfluss ergibt sich als Produkt aus (mittlerer) Geschwindigkeit und Fließfläche zu

$$Q = v \cdot A \quad (1)$$

(s.a. Abb. 2 und *Bollrich*, 2013) und liefert bei Annahme der Grenztiefe wegen $Fr = v/\sqrt{g \cdot h_{gr}} = 1$ für eine (nahezu) rechteckige Bresche $Q = \sqrt{g} \cdot b \cdot h_{gr}^{3/2}$.

Mit der Mindestenergiehöhe $h_{E \min} = 1,5 \cdot h_{gr} = h_{gr} + \frac{v_{gr}^2}{2g}$ kann der Durchfluss bei vernachlässigbarer Anströmgeschwindigkeit allein aus dem Wasserspiegelunterschied zwischen Oberwasser (H_O) und Bresche (H_B)

$$\Delta h = H_O - H_B = \frac{h_{gr}}{2} + \zeta \cdot \frac{v_{gr}^2}{2g} = \frac{h_{gr}}{2} + \zeta \cdot \frac{h_{gr}}{2} = (1 + \zeta) \cdot \frac{h_{gr}}{2} \quad (2)$$

$$\text{mit } h_{gr} = \frac{2 \cdot \Delta h}{(1 + \zeta)} \quad (3)$$

$$\text{zu } Q = \left(\frac{1}{1 + \zeta} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot (2 \cdot \Delta h)^{\frac{3}{2}} = C \cdot \sqrt{g} \cdot b \cdot (2 \cdot \Delta h)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

abgeschätzt werden, wobei $C < 1$ einen Verlustbeiwert infolge Reibung und lokaler Verluste darstellt oder durch den Einlaufverlust ζ ausgedrückt werden kann,

welcher zwischen $\zeta = 0,5$ (scharfkantiger Brescheneinlauf) und $\zeta \geq 0$ liegt. Die während des Breschendurchflusses unbekannte Sohle liegt auf der Höhe

$$H_S = H_B - h_{gr} = H_B - \frac{2 \cdot \Delta h}{(1 + \zeta)}. \quad (5)$$

Wenn eine trapezförmige Bresche (Index T) mit der Überfallbreite b und den Flankenneigungen $1 : m_1$ und $1 : m_2$ als breitröhriger Überfall betrachtet wird, können die nachfolgenden Gleichungen Anwendung finden:

$$Q_{gr} = v_{grT} \cdot A_{grT} = v_{gr} \cdot \left(b \cdot h_{grT} + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \cdot h_{grT}^2 \right) \quad (6)$$

$$\text{mit } v_{grT} = \sqrt{g \cdot h_{grT} \cdot \frac{1 + \frac{h_{grT}}{b'}}{1 + \frac{2 \cdot h_{grT}}{b'}}} \quad \text{und } b' = \frac{2 \cdot b}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Bei rückgestautem Durchfluss ohne Fließwechsel wird zusätzlich zum Oberwasserstand und den Verlusten noch der Unterwasserstand als Eingangsgröße benötigt. Dann kann mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes der Durchfluss berechnet werden.

Je nach Bedienungsaufwand kann eine schnelle Durchflussberechnung auch mittels einer numerischen Berechnung erfolgen. Allerdings muss dann die Querschnittsgeometrie bekannt sein oder mit Hilfe der o. g. Vorbemessung abgeschätzt werden.

4 Auswertung am Beispiel Breitenhagen

Mit den o. a. Gleichungen wurden näherungsweise der Durchfluss und die Breschenparameter ermittelt. Wegen gewisser Unschärfen bei den Eingangswerten wurden deren Streubreiten als gleichverteilte Variablen in eine Monte-Carlo-Berechnung (Methode der statistischen Versuche) eingeführt. Die daraus ermittelten Bereiche für die Konfidenz von 90 % und 33 % sowie der Medianwert sind in Abbildung 3 dargestellt.

In einem früheren Beitrag (Jüpner, Brauneck, Pohl, 2015) wurde schon a. a. O. auf die Möglichkeit der Nachrechnung mit Hilfe von hydronumerischen Modellen hingewiesen.

Die Ergebnisse der hydronumerischen 1-D-Berechnung für das Modell 3 (27 min) liegen in der gleichen Größenordnung bzw. im Intervall der Handrechnung und sind für eine Momentaufnahme der sich entwickelnden Deichbresche ermittelt

worden. Abbildung 5 zeigt die analoge Untersuchung in einem zweidimensionalen Modell. Mit $Q = 244 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt der (Momentan-) Durchfluss im erwarteten Bereich.

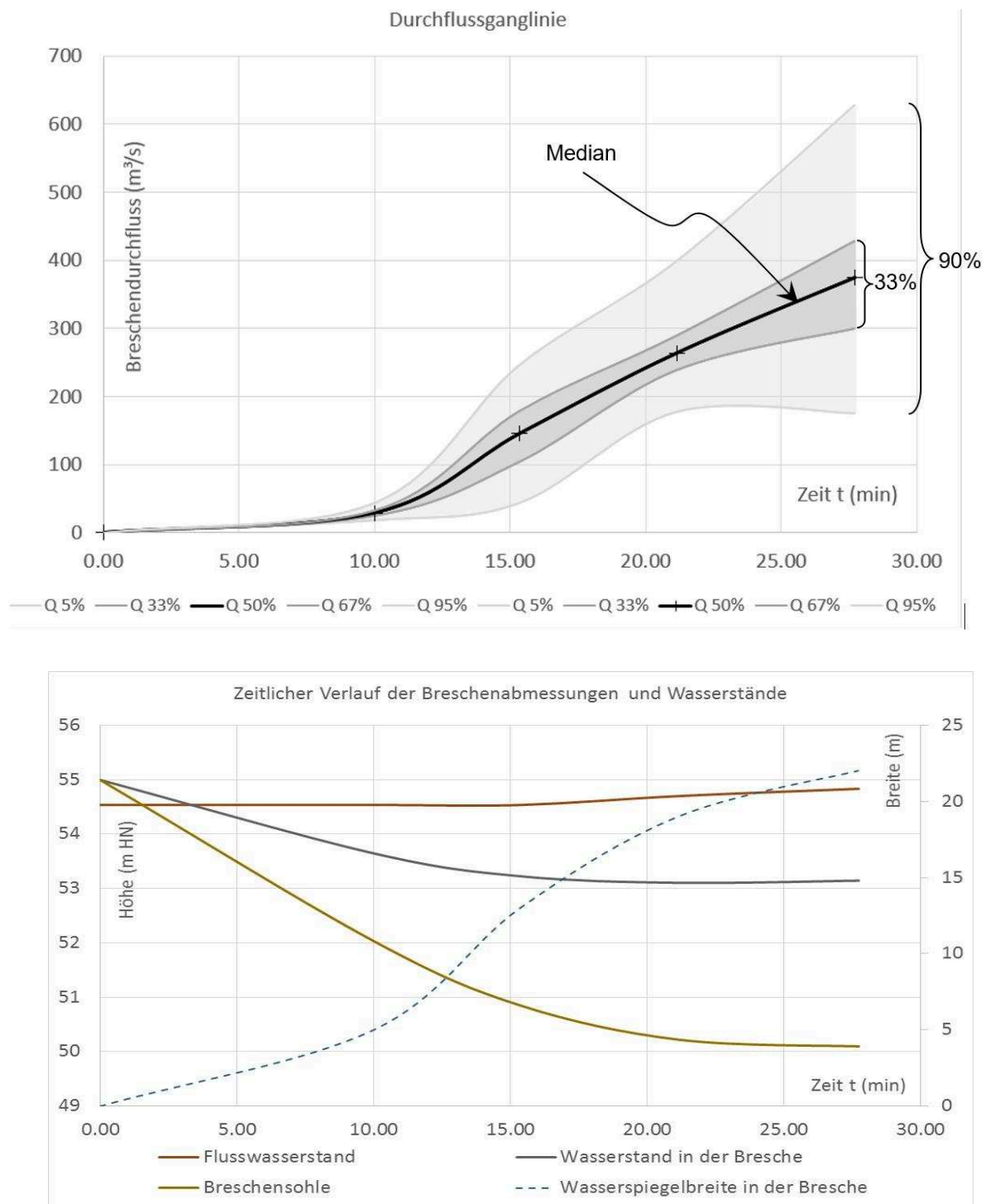


Abbildung 3: Ganglinien des Breschendurchflusses mit Streubereichen, des Flusswasserstandes, des Wasserstandes in der Bresche und der Breschensohle im Bereich des wasserseitigen Deichschulter, sowie der Wasserspiegelbreite in der Bresche.

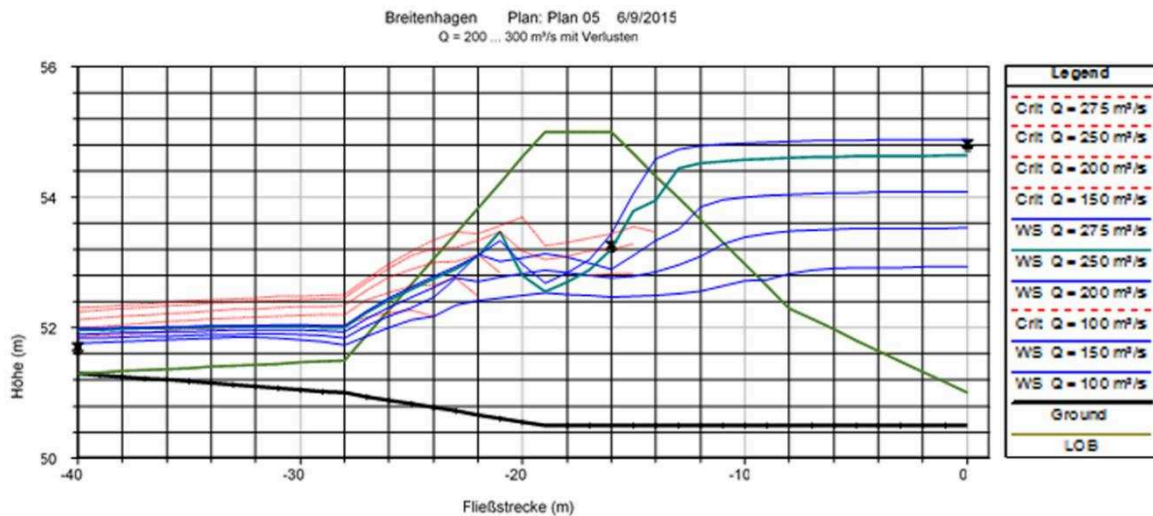


Abbildung 4: 1-D Hydraulischer Längsschnitt der Deichbreschendurchströmung (HEC-RAS)

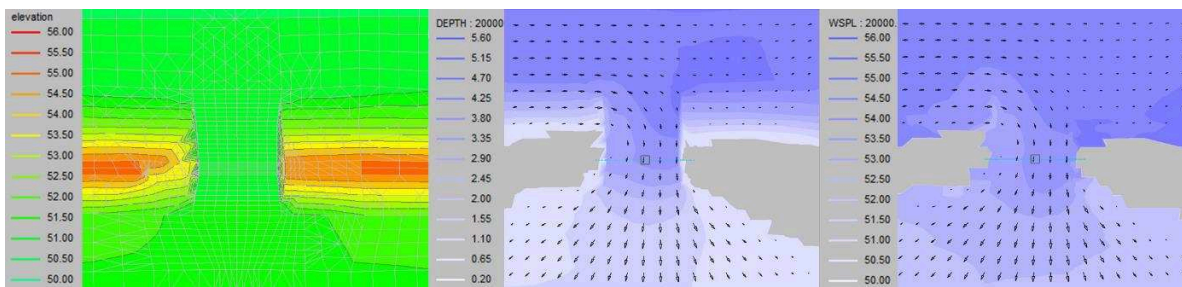


Abbildung 5: 2-D Wasserspiegellagen während der in Abb. 4 dargestellten Deichbreschendurchströmung (Hydro_AS-2D), v.l.n.r.: Gelände, Wassertiefe, Wasserspiegel

5 Fazit

Die Auswertung der Videoaufnahmen zeigt deutlich das Potential UAS-gestützter Untersuchungen während eines Deichbruchs. Allerdings folgt die Überwachung von Gefährdungsstellen bisher keinem einheitlichen Verfahren. Verlässliche und während oder unmittelbar nach einem Katastrophenfall erhobene Informationen sind jedoch die Grundvoraussetzung für Gefährdungsabschätzungen und Modellierungen von Szenarien, die im Katastrophenfall genutzt werden können (vgl. Jüpner *et al.*, 2014). Ferner sollte die Wechselwirkung der Genauigkeit hydrodynamischer Modelle und der Eingangsparameter – u. a. der Bruchstelle - Gegenstand vertiefter Betrachtung sein.

Ein Ziel künftiger Untersuchungen wird die Entwicklung einer Strategie zur Nutzung der UAS-Technologie im operativen Hochwassereinsatz sein. Dabei sollte insbesondere untersucht werden, in welcher Form Multikopter im Hochwasserfall eingesetzt werden können, um relevante Informationen für die zuständigen Einsatzstäbe zu erheben, in welcher Form und Systematik die Auswertungen erfolgen

sowie eine Nutzung dieser Informationen (z. B. in Hochwassermanagementsystemen) umgesetzt werden kann.

Ein weiteres potentiell Forschungsfeld im Zusammenhang mit UAS-Einsätzen ist die zielgerichtete Dokumentation der Auswirkungen von Hochwasserereignissen (z. B. Überschwemmungsausbreitung und –dynamik) und der Vergleich dieser Daten mit bestehenden Modellierungen und kartographischen Darstellungen.

6 Literatur

- Bollrich, G.: Technische Hydromechanik. 7. A. Berlin: Beuth-Verlag, 2013.
- Jüpner, R., Brauneck, J., Pohl, R. (2015): Einsatz von Drohnen im Hochwasserfall – Erfahrungen und Ideen.- In: Wasserwirtschaft 105(2015)9, S. 49-54, ISSN 0043-0978
- Jüpner, R.: Erfahrungen aus dem Hochwasser - Katastropheneinsatz im Juni 2013 an der Elbe. In: Verband Region Rhein-Neckar (Hrsg.): Das Junihochwasser 2013 - Erfahrungen und Konsequenzen. Schriftenreihe des Verbandes Region Rhein-Neckar (2014), Heft 13, S. 1-5.
- Jüpner, R.; Assmann, A.; Weichel, T.; Ettmer, B.; Müller, S. (2014): Abschätzung von Überflutungssituationen infolge von großen Deichbrüchen unter Berücksichtigung der Erfahrungen im Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe. In: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen (2014), Heft 50.
- Jüpner, R.: Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe – neue Fragestellungen. In: WasserWirtschaft 105 (2015), Heft 3, S. 38-41.
- Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Bericht über das Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt, Entstehung, Ablauf, Management und statistische Einordnung. Magdeburg, 2014.
- Kersten, T.; Lindstaedt, M.: Automatic 3D Object Reconstruction from Multiple Images for Architectural, Cultural Heritage and Archaeological Applications Using Open-Source Software and Web Services. In: Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, (2012), Heft 6, S. 727-740.
- Weber, C.: Photogrammetrische Modellierung des Deichbruches bei Breitenhagen. Studie an der TU Kaiserslautern, 2015 (unveröffentlicht).

Autoren:

Dr. Jens Brauneck, Prof. Dr. Robert Jüpner

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl

TU Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern

TU Dresden
01062 Dresden

Tel.: +49 631 205-3110 /-3805
E-Mail: jens.brauneck@bauing.uni-kl.de
robert.juepner@bauing.uni-kl.de

Tel.: +49 351 46335693
E-Mail: reinhard.pohl@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Frank Friedrich

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Otto von Guericke Straße 5, 39104 Magdeburg

Tel.: +49 3455484302
E-Mail: frank.friedrich@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de